

典型数控系统实用技术培训教程

ANUC

系统数控车床 编程与维护

王素艳 主编

● 实践指导 操作性强
● 实例典型 提升技能
● 步入蓝领 成就梦想



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

典型数控系统实用技术培训教程

FANUC 系统数控车床 编程与维护

王素艳 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在内容组织和编排上, 选用了目前使用最广的 FANUC 系统作为典型数控系统进行剖析, 详细介绍了数控车床的编程、操作与维护, CAXA、MasterCAM 数控车床自动编程软件, 以及数控车床常见故障的分析与消除方法等内容。

本书实用性强, 实例大多来源于企业, 便于读者借鉴。本中使用了大量图片和图例来说明数控车床的操作过程, 内容通俗易懂。本书可作为学习数控技术的入门书籍, 也可作为高职数控专业和机械专业的学生, 以及从事数控加工的工程技术人员的参考用书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC 系统数控车床编程与维护 / 王素艳主编. —北京: 电子工业出版社, 2008.6

(典型数控系统实用技术培训教程)

ISBN 978-7-121-06692-4

I. F… II. 王… III. ①数控机床—程序设计—技术培训—教材 ②数控机床—维修—技术培训—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 069309 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 李雪梅

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 13 字数: 333 千字

印 次: 2008 年 6 月 第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 25.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着国内数控机床数量的剧增，急需培养一大批能够熟练掌握现代数控车床编程、操作和维护的高级技能人才。目前常用的系统有日本的 FANUC（法那克）、MAZAK（马扎克）、（Mitsubishi）三菱系统，德国的西门子（SIEMENS）系统、海德汉（Heidenhain）系统，美国的数控系统等。国产的数控系统有广州数控（GKS）、华中等。我们针对当前最受欢迎的系统编写了车床、铣床编程与操作、维护系列教材。本书以占市场份额较大的 FANUC 系统作为典型数控系统进行剖析，通过典型实例以数控车削加工为主线，全面、系统地介绍了数控技术的基础知识、数控车床的数控系统与机械结构、车削加工的工艺分析、编程技术、数控车床的操作和常见故障的分析与排除方法。注重实践的培养，全书系统性强、实用性好。

在素材的组织上，收集了大量企业和我院实训基地当前加工的典型实例，具有很好的实用性，内容通俗易懂，便于技术工人自学。

本书特色之一是借鉴国外较权威的图书，在书中精选大量的实物和操作界面图片，使读者更加容易接受，提高阅读效率。

本书可作为数控车床操作人员的培训教材，也可作为高职数控专业及机械专业的学生，以及从事数控加工等工程技术人员的参考用书。

编 者

2008 年 2 月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

《FANUN 系统数控车床编程与维护》读者意见反馈表

尊敬的读者：

感谢您购买本书。为了能为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间，将您的意见以下表的方式（可从 <http://www.hxedu.com.cn> 下载本调查表）及时告知我们，以改进我们的服务。对采用您的意见进行修订的教材，我们将在该书的前言中进行说明并赠送您样书。

姓名：_____ 电话：_____

职业：_____ E-mail：_____

邮编：_____ 通信地址：_____

1. 您对本书的总体看法是：

很满意 比较满意 尚可 不太满意 不满意

2. 您对本书的结构（章节）： 满意 不满意 改进意见_____

3. 您对本书的例题： 满意 不满意 改进意见_____

4. 您对本书的习题： 满意 不满意 改进意见_____

5. 您对本书的实训： 满意 不满意 改进意见_____

6. 您对本书其他的改进意见：

7. 您感兴趣或希望增加的教材选题是：

请寄：100036 北京万寿路 173 信箱机电与交通分社 田领红收

电话：010-88254474 E-mail: tianlh@phei.com.cn

目 录

第 1 章 数控车床概论	(1)	3.1.3 数控程序结构与程序段格式	(35)
1.1 概述	(1)	3.2 数控车床的坐标系统及系统功能	(36)
1.1.1 数控的定义	(1)	3.2.1 数控车床坐标系和工件坐标系	(36)
1.1.2 数控车床的产生和发展	(1)	3.2.2 参考点	(38)
1.1.3 数控车床的结构及工作原理	(2)	3.2.3 主轴功能、进给功能、刀具功能	(39)
1.1.4 数控车床的功能及类型	(4)	3.2.4 准备功能	(40)
1.2 FANUC 数控系统简介	(5)	3.2.5 辅助功能	(42)
1.2.1 FANUC 数控系统的发展	(5)	3.3 常用的编程方法及运动轨迹控制指令	(44)
1.2.2 FANUC 数控系统的特点	(6)	3.3.1 绝对方式编程与增量方式编程	(44)
1.2.3 FANUC 数控系统的主要类型	(8)	3.3.2 半径编程与直径编程	(46)
第 2 章 数控车削加工工艺	(9)	3.3.3 脉冲数编程与小数点编程	(46)
2.1 数控车床常用的刀具与夹具	(9)	3.3.4 公制、英制的输入	(46)
2.1.1 数控车削刀具的材料	(9)	3.3.5 运动轨迹控制指令	(47)
2.1.2 数控车削刀具的种类及特点	(11)	3.3.6 刀具半径补偿	(52)
2.1.3 数控车床上的夹具	(14)	3.3.7 简单零件程序实例	(54)
2.1.4 数控车削刀具的装夹	(15)	3.4 车削循环	(56)
2.2 数控加工工艺分析方法	(17)	3.4.1 内、外径切削循环 G90	(56)
2.2.1 零件图的工艺分析方法	(17)	3.4.2 端面切削循环指令 G94	(58)
2.2.2 加工方法的选择	(17)	3.4.3 复合形状内、外圆粗车循环 G71	(58)
2.2.3 工序的划分	(17)	3.4.4 复合形状端面车削循环 G72	(62)
2.2.4 确定走刀路线	(18)	3.4.5 成型加工复式循环 G73	(64)
2.2.5 切削用量的选择	(20)	3.4.6 复合形状精车循环 G70	(65)
2.3 数控车削典型零件工艺分析实例	(21)	3.4.7 其他复合形状循环指令	(66)
2.3.1 实例 1	(21)	3.4.8 螺纹切削指令 G32、G92 与 G76	(70)
2.3.2 实例 2	(26)	3.4.9 复合形状零件程序实例	(75)
2.3.3 实例 3	(29)	3.5 子程序与宏程序	(82)
第 3 章 FANUC 系统数控车床编程	(34)		
3.1 数控编程的基本知识	(34)		
3.1.1 数控编程的内容、方法	(34)		
3.1.2 数控编程的种类	(35)		

3.5.1	子程序	(82)	6.1.1	数控车床的安装	(158)
3.5.2	子程序实例	(82)	6.1.2	数控车床的调试	(159)
3.5.3	宏程序	(83)	6.1.3	数控车床的检测	(161)
3.5.4	宏程序零件编制实例	(87)	6.2	数控车床维修与保养	(165)
第4章	数控车床操作	(92)	6.2.1	数控车床维修必要的技 术资料及备件	(165)
4.1	FANUC 系统数控车床电 源操作与面板操作	(92)	6.2.2	数控车床维修的基 本步骤	(168)
4.1.1	通电与关闭电源操作	(92)	6.2.3	数控车床电气控制系统 的日常维护	(172)
4.1.2	数控系统操作面板	(93)	6.3	数控车床发生故障时的诊 断与维修	(174)
4.2	数控车床操作	(97)	6.3.1	电源类故障	(174)
4.2.1	手动操作	(97)	6.3.2	系统显示类故障	(176)
4.2.2	控制显示屏内容 操作	(100)	6.3.3	急停、报警类故障	(177)
4.2.3	在屏幕上显示数控 系统运行状态	(101)	6.3.4	操作类故障	(179)
4.2.4	设置工件坐标系及刀 具偏移值	(102)	6.3.5	刀架、刀库常见故障	(181)
4.3	编辑和管理数控加工程序	(104)	6.4	主轴驱动系统故障	(182)
4.3.1	编辑程序	(104)	6.4.1	主轴通用变频器	(182)
4.3.2	管理程序	(106)	6.4.2	交流伺服主轴驱动 系统故障	(186)
4.4	FANUC 系统数控车削加工 综合实例	(107)	6.5	进给系统故障	(189)
4.4.1	螺纹类零件加工实例	(107)	6.5.1	进给伺服系统出错的 故障	(189)
4.4.2	外轮廓及螺纹加工实例	(110)	6.5.2	滚珠丝杠副的常见故障及 排除方法	(190)
4.4.3	孔类零件加工实例	(113)	6.6	机械结构故障诊断与维修实例	(191)
4.4.4	宏程序加工实例	(116)	6.6.1	实例	(191)
第5章	自动编程	(119)	6.6.2	数控系统故障诊断的 基本方法	(192)
5.1	CAXA 数控车自动编程软件	(119)	6.7	位置检测系统的故障诊断与 维修	(194)
5.1.1	CAXA 操作步骤	(119)	6.7.1	位置检测系统的故障 形式	(195)
5.1.2	CAXA 界面	(119)	6.7.2	位置检测元件的维护	(195)
5.1.3	CAXA 应用实例	(121)	6.7.3	位置检测系统的故 障诊断	(196)
5.2	MasterCAM 10.0 数控车自动 编程软件	(141)	参 考 文 献	(199)	
5.2.1	MasterCAM 10.0 操作 步骤	(141)			
5.2.2	MasterCAM 10.0 自动 编程实例	(142)			
第6章	数控车床维护与故障排除	(158)			
6.1	数控车床的安装、调试、检 测与验收	(158)			

第 1 章 数控车床概论

本章主要介绍数控方面的基本常识，数控车床的产生和发展，数控车床的结构及工作原理，数控车床的功能及类型，数控系统的发展、特点及系统的主要系列。这些是数控专业人员必须掌握的基本知识。

1.1 概述

1.1.1 数控的定义

数字控制（NC）可定义为通过机床控制系统用特定的编程代码对机床进行操作，这些代码是由字母、阿拉伯数字及选用的符号按照一定的逻辑顺序和规定格式组成的。计算机数字控制（CNC）是以计算机为核心的数控系统对机械运动及加工过程进行控制。

CNC 主要使用内部微处理器（即计算机）操作程序。计算机含有储存各种程序的存储寄存器，这些程序可以用来处理逻辑操作，零件程序员和机床操作员可以通过控制系统自身（在机床上）来修改程序，CNC 程序和逻辑操作作为软件指令存储在专用的计算机芯片上，而不是用电缆类的硬件连接方式来控制逻辑操作。

由于现代数控系统都采用了计算机，因此可以认为 NC 和 CNC 是等同的。

1.1.2 数控车床的产生和发展

1. 数控车床的产生

1946 年，冯·诺依曼研制成功世界上第一台电子计算机，为机械产品制造由刚性自动化向柔性自动化奠定了基础。为了解决航空与宇宙航行方面的大型和复杂零件的单件、小批量生产，美国开展了军备竞赛。1949 年，为了能在短时间内制造出需要经常变更设计的火箭零件，美国空军后勤司令部委托 PARSONS 公司与麻省理工学院（MIT）伺服机构研究所协作研制数控机床，并于 1952 年 3 月，成功研制出世界上第一台三坐标数控镗铣床。它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测、新型机械结构等多方面的技术成果。上个世纪末，美国又成功研制出世界上第一台数控车床。我国是从 1956 年开始研制数控机床的。

1958年,我国第一台数控机床在清华馆诞生,1973年,中国第一台数控车床CSK6136在沈阳第一机床厂研制成功,1975年通过国家鉴定,1976年开始投入生产。

数控车床的发展先后经历了两个阶段共六个时代:第一阶段是NC阶段,包括电子管(1952年)时代、晶体管(1959年)时代、小规模集成电路(1965年)时代;第二阶段是CNC阶段,包括大规模集成电路、小型计算机(1970年)时代和微处理机或微型计算机(1974年)时代。

2. 计算机数字控制车床

由于用户对产品需求的不断变化,机械加工也由刚性自动化向柔性自动化方向发展。随着电子计算机的发展,机械制造业的自动化正在经历着CNC(计算机数字控制)——FMS(柔性制造系统)——CIMS(计算机集成制造系统)“三部曲”。这使制造业朝着设计、制造、管理全自动化的高层次方向发展。这里计算机数字控制车床是基础,为此先简单介绍一下计算机数字控制车床。

计算机数字控制车床是利用计算机通过数字信息来进行自动控制的一种自动化车床。该控制系统能够处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,从而使车床各坐标协调运动,并按加工的动作顺序控制自动控制车床各个部件的动作(如换刀、工件的夹紧与放松、切削液的开关等),完成零件的加工。

3. 数控车床的优点

与普通车床相比,数控车床有如下特点:

- ① 加工精度高,具有稳定的加工质量。
- ② 可进行多坐标的联动,能加工形状复杂的零件。
- ③ 加工零件改变时,一般只需要更改数控程序,可节省生产准备时间。
- ④ 车床本身的精度高、刚性大,可选择有利的加工用量,生产效率高(一般为普通车床的3~5倍)。
- ⑤ 车床自动化程度高,可以减轻劳动强度。
- ⑥ 对操作人员的素质要求较高,对维修人员的技术要求更高。

1.1.3 数控车床的结构及工作原理

1. 数控车床的结构

数控车床由机床本体和计算机数控系统两大部分组成。

数控车床的组成如图1.1所示。

(1) 机床本体包括主运动机构、辅助控制机构、进给传动机构等机械部件,用于完成各种切削加工的机械部件。

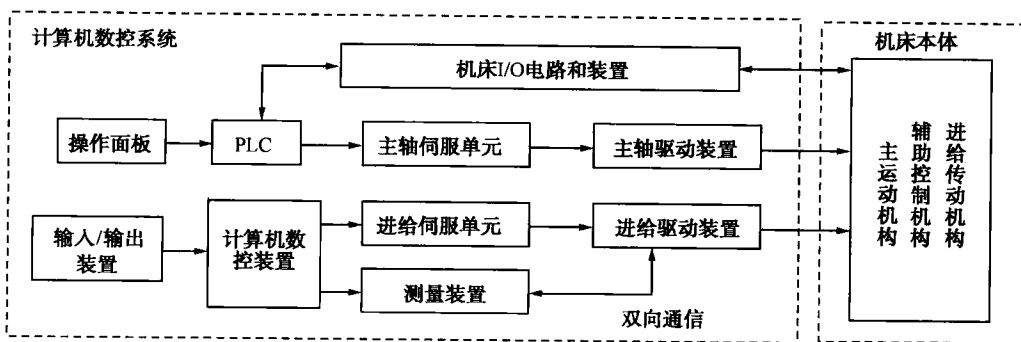


图 1.1 数控车床的组成

(2) 输入/输出装置。输入/输出装置的作用是将程序载体（信息载体）上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控车床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控系统。数控加工程序还可通过编程计算机用 RS—232 或采用网络通信方式传送到数控系统中。通过 RS—232 的存储介质有磁带、磁盘（软盘、U 盘及移动硬盘）等。零件加工程序输入过程有两种不同的方式：一种是边输入边加工（数控系统内存较小时），即 DNC 方式；另一种是将零件加工程序一次全部输入到数控装置内部的存储器中，加工时再从内部存储器逐段调出进行加工。

(3) 数控装置。数控装置是数控车床的核心，其功能是接收输入的加工信息，经过数控装置的系统软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理，向伺服系统发出相应的脉冲，并通过伺服系统控制机床运动部件按加工程序指令运动。

(4) 驱动装置。驱动装置是数控车床执行机构的驱动部件，包括主轴驱动单元、进给单元、主轴电动机及进给电动机等。它在数控装置的控制下通过电气或电液伺服系统实现主轴进给驱动。当几个进给联动时，可以完成定位、直线、平面曲线和空间曲线的加工。

通常配置比较高时，选用伺服电动机 FANUC α is/ α i 系列交流主轴电动机；通常配置比较低时，选用伺服电动机 FANUC β is/ β i 系列交流主轴电动机。

(5) 辅助装置。辅助装置是数控车床的一些必要的配套部件，用以保证数控车床的运行，如冷却、排屑、润滑、照明、监测等。它包括液压和气动装置、排屑装置、工作台的回转、交换工作台和数控分度头，还包括刀具及监控检测装置等。

2. 工作原理

数控车床的主运动由主轴电动机驱动，主轴采用变频无级调速的方式进行变速。驱动系统采用伺服电动机（对于小功率的车床采用步进电动机）驱动，经过滚珠丝杠传动到机床滑板和刀架，以连续控制的方式，实现刀具的纵向（Z 向）进给运动和横向（X 向）进给运动。数控车床的主运动和进给运动的同步信号来自于安装在主轴上的脉冲编码器。当主轴旋转时，脉冲编码器便向数控系统发出检测脉冲信号。数控系统对脉冲编码器的检测信号进行处理后传给伺服系统中的伺服控制器，伺服控制器再驱动伺服电动机转动，从而使主运动与刀架的切削进给保持同步。

1.1.4 数控车床的功能及类型

CNC 装置能控制的轴数以及能同时控制（即联动）的轴数是数控装置功能强弱的主要性能指标。一般数控车床只需两轴控制（二轴联动）；控制轴数越多，特别是同时控制轴数越多，CNC 装置的功能越强，CNC 装置就越复杂，编制程序也就越困难。

CNC 装置可以通过其硬件和软件的结合，实现许多功能，主要包括以下功能。

1. 准备功能

准备功能也称 G 功能，用来指令机床动作方式。包括基本移动、程序暂停、平面选择、坐标设定、刀具补偿、基准点返回、固定循环、公/英制转换等。

2. 插补功能

在实际加工中，被加工工件的轮廓形状千差万别，严格来说，为了满足几何尺寸精度的要求，刀具中心轨迹应该准确地按照工件的轮廓形状来生成。对于简单的曲线，数控系统可以很容易地实现，但对于较复杂的形状，若直接生成会使算法变得很复杂，计算机的工作量也相应地增加。因此，实际应用中，常采用小段直线或圆弧进行拟合，这样就可满足精度要求（也有用抛物线和高次曲线拟合的情况），这种拟合方法就是“插补”。插补计算实时性很强，一般数控装置都具有直线插补和圆弧插补，高档数控装置还具有抛物线插补、螺旋线插补、极坐标插补、正弦插补、样条插补等功能。

3. 主轴功能

CNC 装置可以控制主轴的运动，也可以实现主轴的速度控制和准确定位。

4. 进给功能

进给功能用 F 代码直接指令各轴的进给速度。同时，可以通过主轴上的位置编码器实现同步进给。

5. 补偿功能

补偿功能包括刀具长度、刀具半径补偿和刀尖圆弧补偿的软件补偿；坐标轴的反向间隙补偿；进给传动件的传动误差补偿（如丝杠螺距补偿），进给齿条齿距误差补偿等机械补偿。

6. 辅助功能

辅助功能是数控加工中不可缺少的辅助操作，各种型号的数控装置其辅助功能的多少差别很大。常用的辅助功能有程序停、主轴正/反转、切削液接通和断开、换刀等。辅助功能是通过 PLC 或 I/O 接口实现的。

7. 字符、图形显示功能

CNC 装置可配置不同尺寸的单色或彩色 CRT 显示器，通过软件和接口实现字符、图形显

示。可以显示程序、机床参数、各种补偿量、坐标位置、故障信息、人机对话编程菜单、零件图形、动态刀具模拟轨迹等。

8. 程序编辑功能

CNC 装置可以实现加工程序的输入/输出、编辑功能。

9. 输入/输出功能、通信功能和固定特环功能

输入/输出功能：一般的 CNC 装置可以接多种输入、输出外设，实现程序和参数的输入/输出和存储。

通信功能：CNC 都具有 RS—232 或 RS—422 远距离串口，可以按照用户格式的要求，与同一级计算机或上一级计算机进行多种数据交换。

固定循环功能：CNC 可以使用某些固定循环功能简化编程，如 G90、G71、G72、G73、G81、G83 等。

10. 自诊断功能

CNC 装置中设置了各种自诊断程序，可以防止故障的发生或扩大。在故障出现后可迅速查明故障类型及部位，减少故障停机时间。

总之，CNC 数控装置的功能多种多样，而且随着技术的发展，功能越来越丰富。其中插补功能、准备功能、主轴功能、进给功能、辅助功能、字符显示功能、自诊断功能等属于基本功能。而补偿功能、图形显示功能、通信功能则属于选择功能。

1.2 FANUC 数控系统简介

1.2.1 FANUC 数控系统的发展

FANUC 公司创建于 1956 年，1959 年首先推出了电液步进电动机，在后来的若干年中逐步发展并完善了以硬件为主的开环数控系统。进入 20 世纪 70 年代，微电子技术、功率电子技术，尤其是计算技术得到了飞速发展，FANUC 公司毅然舍弃了使其发家的电液步进电动机数控产品，从 GETTES 公司引进直流伺服电动机制造技术。1976 年 FANUC 公司研制成功数控系统 5，随后又与 SIEMENS 公司联合研制了具有先进水平的数控系统 7，从那时起，FANUC 公司逐步发展成为世界上最大的专业数控系统生产厂家，产品日新月异，年年翻新。

1979 年研制出数控系统，包括 FANUC 6M 和 FANUC 6T。M 表示铣床加工中心，T 表示车床加工中心。与老式机型比较，使用了大容量磁泡存储器，专用于大规模集成电路，元件总数减少了 30%。它还备有用户自己制作的特有变量型子程序的用户宏程序。

1980 年在数控系统 6 的基础上同时向低档和高档两个方向发展，研制了数控系统 3 和数控系统 9。数控系统 3 是在数控系统 6 的基础上简化而形成的，体积小，成本低，容易组成机电一体化系统，适用于小型、廉价的机床。数控系统 9 是在数控系统 6 的基础上强化而形

成的具备有高级性能的可变软件型 CNC 系统。通过变换软件可适应任何不同用途，尤其适合加工复杂而昂贵的航空部件，要求可靠度高的多轴联动重型数控机床。

1984 年 FANUC 公司又推出新型系列产品，数控系统 10、数控系统 11 和数控系统 12。该系列产品在硬件方面做了较大改进，凡是能够集成的都做成大规模集成电路，其中包含 8000 个门电路的专用大规模集成电路芯片有 3 种，其引脚竟多达 179 个。另外的专用大规模集成电路芯片有 4 种，厚膜电路芯片 22 种；还有 32 位的高速处理器、4MB 的磁泡存储器等，元件数比前期同类产品减少 30%。由于该系列采用了光导纤维技术，使过去在数控装置与机床及控制面板之间的几百根电缆大幅度减少，提高了抗干扰性和可靠性。该系统在 DNC 方面能够实现主计算机与机床、工作台、机械手、搬运车等之间各类数据的双向传送。它的 PLC 装置使用了独特的无触点、无极性输出和大电流、高电压输出电路，能促使强电柜的半导体化。此外 PLC 的编程不仅可以使使用梯形图语言，还可以使用 Pascal 语言，便于用户自己开发软件。数控系统 10、数控系统 11、数控系统 12 还充实了专用宏功能、自动计划功能、自动刀具补偿功能、刀具寿命管理、彩色图形显示 CRT 等。

1985 年 FANUC 公司又推出了数控系统 0，它体积小、价格低，适用于机电一体化的小型机床，因此它与适用于中、大型的数控系统 10、数控系统 11、数控系统 12 一起组成了这一时期的全新系列产品。硬件组成的宗旨是以最少的元件数量发挥最高的效能，采用了最新型高速高集成度处理器，共有专用大规模集成电路芯片 6 种，其中 4 种为低功耗 CMOS 专用大规模集成电路。三轴控制系统的主控制电路包括输入/输出接口、PMC (Programmable Machine Control) 和 CRT 电路等，它们都在一块大型印制电路板上，与操作面板 CRT 组成一体。数控系统 0 的主要特点有：彩色图形显示、会话菜单式编程、专用宏功能、多种语言（汉、德、法）显示、目录返回功能等。FANUC 公司推出的数控系统 0，得到了各国用户的高度好评，成为世界范围内用户最多的数控系统之一。

1987 年 FANUC 公司又成功研制出数控系统 15，被称为划时代的人工智能型数控系统，它应用了 MMC (Man Machine Control)、CNC、PMC 的新概念。数控系统 15 采用了高速度、高精度、高效率加工的数字伺服单元，数字主轴单元和纯电子式绝对位置编码器，还增加了 MAP (Manufacturing Automatic Protocol)、窗口功能等。

FANUC 公司是生产数控系统和工业机器人的著名厂家，该公司自 20 世纪 60 年代生产数控系统以来，已经开发出 40 多种系列产品。

FANUC 公司目前生产的数控装置有 F0、F10、F11、F12、F15、F16、F18 系列。F00、F100、F110、F120、F150 系列是在 F0、F10、F12、F15 的基础上加了 MMC 功能，即 CNC、PMC、MMC 三位一体的 CNC。

1.2.2 FANUC 数控系统的特点

FANUC 系统可以满足一般的车床、铣床、加工中心、磨床的需要，也可以满足功能齐全的、复杂的、高精、高速、高效、多轴联动、多工位、多通道数控机床等。也可以适应从金属切削机床到冲压成形机床的不同品种的需要。FANUC 数控系统的主要特点如下。

1. 具有很高的可靠性

数控车床已经成为现代化生产线上必不可少的加工设备,因此它必须能够长期无故障地连续运行在恶劣的环境中。为了能够达到这一要求,作为数控车床的控制核心——数控系统必须具有很高的可靠性。FANUC 系统正是以产品的可靠性作为研发的重点之一。

① 系统在设计中大量采用模块化结构。这种结构易于拆装,各个控制板高度集成,使可靠性有了很大提高,而且便于维修、更换。FANUC Oi 系统更进一步提高了集成度,在继承数控系统的基础上,还集成了 EROM 和 SRAM 模块、PMC 模块、存储器和伺服模块,从而将体积变得更小,可靠性更高。

② 采用机器人焊板,减少了人为参与,实现了全自动的制造,避免了由于不慎人为因素所造成的失误,大大提高了系统的可靠性。

③ 具有很强的抵抗恶劣环境的能力。其工作环境温度为 $0\sim 45^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 75% (短时间内可达到 95%),抗振动能力为 0.5 g (加速度),电网波动为 $-15\%\sim 10\%$ 。

④ 有较完善的保护措施。和其他数控系统相比,FANUC 对自身的系统采用比较好的保护电路。例如,遇到由于电网缺相致使主轴变频器烧坏,而 FANUC 系统的显示器只在缺相时变黑,待电压正常后系统仍能正常工作。另外,在调试过程中经常是反复断电、上电,中间不需要间隔很长时间,丝毫不影响系统的正常工作。

2. 功能全,适用范围广

FANUC 系统在设计中始终以满足用户要求为其设计核心,具有较全的功能,适用于各种机床和生产机械。

① FANUC 系统所配置的系统软件具有比较齐全的基本功能和选项功能。对于一般的机床来说,基本功能完全能满足使用要求,这样的配置功能较齐全,价格也比较合理。对于某种特殊要求的机床需要增加相应的功能,这些功能只需要将相应的功能参数打开或加相应板卡(由于各个板卡为可拆换的集成板卡,拆装非常方便)即可使用,既方便,又可靠,同时又节省财力和物力。

② 提供大量丰富的 PMC 信号和 PMC 功能指令。这些丰富的信号和编程指令便于用户编制机床的 PMC 控制程序,而且增加了编程的灵活性。例如,在编制刀库程序时,既可用用户宏程序的信号来完成,又可用程序段的选择跳转信号来完成。不同的编程思路产生同一个控制结果,真正实现了个性化的控制。

③ 具有很强的 DNC 功能,系统提供串行 RS-232C 传输接口,使 PC 和机床之间的数据传输能够可靠完成,从而实现高速度的 DNC 操作。同时 FANUC Oi 系统又增加“多段程序预读控制功能”和“HRV (高响应矢量)”控制,又具有“HSSB (高速串行总线)控制功能”,使执行程序的速度和精度大大提高。FANUC Oi 系统还提供参数 7001#0,将其设为 1 后(手动输入返回功能有效)。在大型零件加工过程中,由于刀具发生磨损需要换新刀时,使进给暂停后,可以手动将机床移到安全高度(不能按 RESET 键),换上新刀具再循环启动即可继续加工,实现了高精度加工。

④ 提供丰富的维修报警和诊断功能。FANUC 维修手册为用户提供了大量的报警信息,并且以不同的类别进行分类,每一条维修信息和诊断状态就像医生的处方一样,便于用户对

故障进行维修。

1.2.3 FANUC 数控系统的主要类型

1. 高可靠性的 PowerMate 0 系列

用于控制两轴的小型车床，取代步进电动机的伺服系统；可配画面清晰、操作方便、中文显示的 CRT/MDI，也可配性能价格比高的 DPL/MDI。

2. 普及型 CNC 0-D 系列

0-TD 用于车床；0-MD 用于铣床及小型加工中心；0-GCD 用于圆柱磨床；0-GSD 用于平面磨床；0-PD 用于冲床。

3. 全功能型的 0-C 系列

0-TC 用于通用车床、自动车床；0-MC 用于铣床、钻床、加工中心；0-GCC 用于内、外圆磨床；0-GSC 用于平面磨床；0（4）高性能价格比的 0i 系列，整体软件功能包，高速度、高精度加工，并具有网络功能。0i-MB/MA 用于加工中心和铣床，4 轴 4 联动；0i-/TC/TB/TA 用于车床，4 轴 2 联动，0i-mate MA 用于铣床，3 轴 3 联动；0i-mate/TC/TB/TA 用于车床，2 轴 2 联动。

4. 具有网络功能的超小型、超薄型 CNC 16i、18i、21i 系列

控制单元与 LCD 集成于一体，具有网络功能，超高速串行数据通信。其中 FS16i—MB 的插补、位置检测和伺服控制以纳米为单位。16i 最大可控 8 轴，6 轴联动；18i 最大可控 6 轴，4 轴联动；21i 最大可控 4 轴，4 轴联动。

除此之外，还有实现机床个性化的 CNC 16、18、160、180 系列。

第2章 数控车削加工工艺

数控加工工艺是采用数控车床加工零件时所运用的各种方法和技术手段的总和，应用于整个数控加工工艺过程。本章主要介绍数控车削典型零件的加工工艺过程，刀具和毛坯的选择、加工余量的分配、加工路线的选择，工艺过程卡、刀具卡及工序卡的制定。

2.1 数控车床常用的刀具与夹具

数控车床加工时，根据程序指令自动换刀，在全功能数控车床上，刀架具有较多的工位数，一般可以预先安装 8~12 把刀。为了保证车床的精度，提高生产率降低刀具或刀片的消耗，在选用刀具时应重点考虑刀具和工件的材料，刀具的断屑性能，切削用量的选用，因为它会直接影响刀具的寿命，工件的加工精度，从而影响生产率和经济效益。

2.1.1 数控车削刀具的材料

数控车床切削类型及应选用的刀具类型如下。

(1) 高速钢 (High Speed Steel)

高速钢通常是型坯材料，韧性比硬质合金好，硬度、耐磨性和高温硬度比硬质合金差，不适于切削硬度较高的材料，也不适于进行高速切削。高速钢刀具使用前通常需要生产者自行刃磨，且刃磨方便，适用于各种特殊需要的非标准刀具。

(2) 硬质合金 (Cemented Carbide)

硬质合金刀具切削性能好，在数控车削中被广泛使用。硬质合金刀具具有标准规格系列产品，具体技术参数和切削性能由刀具生产厂家提供。硬质合金刀具按国际标准把所有牌号分成用颜色标志的三大类，分别用 P、M、K 表示。

① P 类：蓝色（型号包括 P01~P50），即 YT 类硬质合金有较高的硬度，耐热性好，有较好的抗黏结性和抗氧化能力。其成分为 5%~40%TiC+Ta(Nb)C，其余为 WC+Co。这类合金主要用于加工长切屑的黑色金属。

② M 类：黄色（型号包括 M10~M40），即 YW 类硬质合金，在合金中加入了适量的稀有难熔金属碳化物，具有较好的高温硬度和高温强度。其成分为 5%~10%TiC+Ta(Nb)C，其余为 WC+Co。这类合金为通用型，适于加工长切屑或短切屑的黑色金属及有色金属。

③ K 类：红色（型号包括 K10~K40），即 YG 类硬质合金，这类合金的抗拉强度和韧性